

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-233024

(43)Date of publication of application : 22.08.2003

(51)Int.Cl.

G02B 26/08

G02B 27/18

(21)Application number : 2002-035820 (71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 13.02.2002 (72)Inventor : ISHIKAWA HIROKAZU

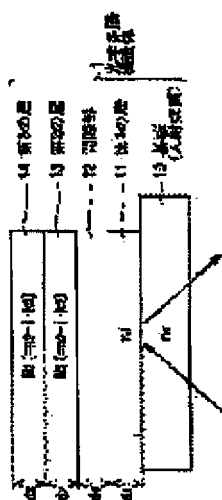
(54) OPTICAL MULTILAYERED STRUCTURE, OPTICAL SWITCHING ELEMENT USING THE SAME, AND PICTURE DISPLAY DEVICE

$$\left\{ \left( \frac{n_1^2 - n_s^2}{n_1^2 + n_s^2} \right)^2 + \left( \frac{k_2^2 - k_3^2}{n_2^2 + n_3^2} \right)^2 \right\} + \left\{ \left( \frac{n_1^2 - n_s^2}{n_1^2 + n_s^2} \right)^2 + \left( \frac{k_2^2 - k_3^2}{n_2^2 + n_3^2} \right)^2 \right\} \sin^2 \delta \quad (5)$$

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical multilayered structure which has less reflection boundary surfaces and has a simple arrangement.

**SOLUTION:** An optical multilayered structure 1 has an arrangement where a first transparent layer 11 brought into contact with a substrate 10 used as an incidence medium, a gap part 12 which has a size allowing the occurrence of an interference phenomenon of light and can change the size, a second layer 13 being absorbent of light, and a third layer 14 being absorbent of light are arranged on the substrate 10 in order, and the optical multilayered structure modulates incident light from the substrate 10 side. They are set so as to satisfy formula (5)



where  $n_s$  and  $n_1$  are refractive indexes of the substrate 10 and the first layer 11, respectively, and  $N_2 (=n_2 - i k_2)$ ,  $n_2$  is the refractive index,  $k_2$  is the attenuation coefficient, and  $i$  is the imaginary unit) and  $N_3 (=n_3 - i k_3)$ ,  $n_3$  is the refractive index,  $k_3$  is the attenuation coefficient, and  $i$  is the imaginary unit) are complex indexes of refraction of the second layer and the third layer, respectively.

## Partial Translation of Reference 1

Jpn. Pat. Appln. KOKAI Publication No. 2003-233024

Filing No.: 2002-35820

Filing Date: February 13, 2002

Applicant: Sony Corporation

Priority: Not Claimed

KOKAI Date: August 22, 2003

Request for Examination: Not filed

Int.Cl.: G02B 26/08

27/18

---

### Partial Translation A

(From page 2, column 1, lines 1 to 7)

[What is claimed is:]

[Claim 1]

An optical multilayer structure wherein:

a first layer, a gap section, a second layer and a third layer are provided on one surface of a substrate serving as a medium of incidence, the first layer being transparent, the gap section having a size enabling optical interference, the size being variable, and the third layer absorbing light; and

light incident from the substrate side is modulated.

### Partial Translation B

(From page 4, column 6, line 35 to page 5, column 7, line 1)

[0021] FIGS. 1 and 2 illustrate a basic configuration of an optical multilayer structure 1 of an embodiment of the present invention. FIG. 1 illustrates a high reflective condition wherein the optical multilayer structure 1 has a gap section 12 (described later). FIG. 2 illustrates a low reflective condition wherein the optical multilayer structure 1 does not have the gap section 12. The optical multilayer structure is specifically utilized as an optical switching element. An image display apparatus is comprised of a plurality of the optical switching elements of one or two dimensional array.

[0022] The optical multilayer structure comprises a first layer 11, a gap section 12, a second layer 13, and a third layer 14, formed on one surface of a substrate 10 (serving as a medium of incidence) in the order mentioned. The first layer 11 contacts the substrate 10 and is transparent. The gap section 12 has a size enabling optical interference and the size is variable. The second layer 13 is formed on the first layer 11, with the gap section 12 interposed therebetween. The third layer 14 contacts the second layer 13 and absorbs light.

**Partial Translation C**

(From page 7, column 12, line 46 to page 8, column 13, line 9)

[0054] In this embodiment, incident light from the substrate side is modulated. Thus, the substrate 10 can serve as a transparent protective substrate of the optical multilayer structure 1. Consequently, another transparent protective substrate need not be provided on the substrate side (the side from which light enters), and less reflection surfaces need to be provided. If an image display apparatus is formed by use of the optical multilayer structure 1, a color filter can be formed directly on the other surface of the substrate 10, and a transparent protective substrate on which a color filter is formed need not be prepared as a different component. A protection member of the optical multilayer structure 1 on the side of the second layer 14 need not be a transparent substrate but can be opaque material, such as a cheap metal board, or any material, since light does not enter.

## 対応なし、英抄

(19) 日本国特許庁 (J.P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-233024

(P2003-233024A)

(43) 公開日 平成15年8月22日 (2003.8.22)

(51) Int.Cl.

G 0 2 B 26/08

27/18

識別記号

F I

G 0 2 B 26/08

27/18

テ-マ-ト(参考)

A 2 H 0 4 1

Z

審査請求 未請求 請求項の数27 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2002-35820(P2002-35820)

(22) 出願日 平成14年2月13日 (2002.2.13)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 石川 博一

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

株式会社内

(74) 代理人 100098785

弁理士 藤島 洋一郎

Fターム(参考) 2B041 AA16 AB38 AB40 AC04 AC08

AZ02 AZ08

(54) 【発明の名称】 光学多層構造体、これを用いた光スイッチング素子および画像表示装置

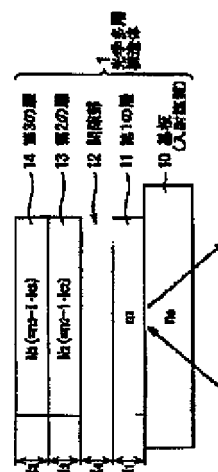
(57) 【要約】

【課題】 反射界面が少なく単純な構成の光学多層構造体を提供する。

【解決手段】 光学多層構造体1は、入射媒質を兼ねる基板10の上に、この基板10に接する、透明な第1の層11、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさを変化させることのできる間隙部12、光の吸収のある第2の層13および光の吸収がある第3の層14をこの順で配設した構成を有し、基板10側からの入射光を変調する。基板10の屈折率を $n_0$ 、第1の層11の屈折率を $n_1$ 、第2の層の複素屈折率を $N_2$  ( $=n_2 - i \cdot k_2$ 、 $n_2$ は屈折率、 $k_2$ は消衰係数、 $i$ は虚数単位)、第3の層の複素屈折率を $N_3$  ( $=n_3 - i \cdot k_3$ 、 $n_3$ は屈折率、 $k_3$ は消衰係数、 $i$ は虚数単位)としたとき、次式の関係を満たすように設定される。

【数5】

$$\left\{ \left( n_0 - \frac{n_1^2 + n_2^2}{2n_1} \right) + i \left( \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1} \right) \right\} \times \left\{ \left( n_1 - \frac{n_2^2 + n_3^2}{2n_2} \right) + i \left( \frac{n_2^2 - n_3^2}{2n_2} \right) \right\} \leq 0 \quad (5)$$



【特許請求の範囲】

【請求項1】 入射媒質を兼ねる基板の一方の面に、透明な第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な間隙部、第2の層および光の吸収のある第3の層を配設した構造を有し、前記基板側から入射した光を変調することを特徴とする光学多層構造体。

【請求項2】 前記基板の一方の面に、前記第1の層、前記間隙部、前記第2の層および前記第3の層が、この順で配設されていることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項3】 前記基板が、透明材料からなることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

\*

$$\left\{ \left( n_s - \frac{n_1^2 + n_2^2}{2n_s} \right)^2 + k_s^2 - \left( \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_s} \right)^2 \right\} \times \left\{ \left( n_s - \frac{n_1^2 + n_3^2}{2n_s} \right)^2 + k_s^2 - \left( \frac{n_1^2 - n_3^2}{2n_s} \right)^2 \right\} \leq 0 \quad (1)$$

ことを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項7】 前記第2の層の光学的特性を前記第3の層の光学的特性に等しくして前記第2の層を省略していることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項8】 前記間隙部の光学的な大きさを变化させる駆動手段を有し、前記駆動手段によって前記間隙部の大きさを变化させることにより、入射した光の反射、透過若しくは吸収の量を変化させることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項9】 前記駆動手段によって、前記間隙部の光学的な大きさを、 $\lambda/4$ の奇数倍と $\lambda/4$ の偶数倍（0を含む）との間で、2値的あるいは連続的に変化させることで、入射光の反射、透過若しくは吸収の量を2値的あるいは連続的に変化させることを特徴とする請求項8記載の光学多層構造体。

【請求項10】 前記第1の層の光学的厚さが、 $\lambda/4$ （ $\lambda$ は入射光の設計波長）以下であることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項11】 前記第1の層、前記第2の層および前記第3の層のうちの少なくとも一つは、互いに光学的特性の異なる2以上の層により構成された複合層であることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項12】 前記基板および前記第1の層のうちの少なくとも一方と、前記第2の層および前記第3の層のうちの少なくとも一方とが、少なくとも一部に透明導電膜を含み、前記駆動手段は、前記透明導電膜への電圧の印加によって発生した静電力により、前記間隙部の光学的な大きさを变化させるものであることを特徴とする請求項8記載の光学多層構造体。

【請求項13】 前記透明導電膜は、ITO、 $\text{SnO}_2$ および $\text{ZnO}$ のうちのいずれかからなることを特徴とする請求項12記載の光学多層構造体。

【請求項14】 前記基板が、酸化ケイ素、ガラスおよびプラスチックのうちのいずれかからなることを特徴と

【請求項4】 前記第2の層が、光の吸収のある材料からなることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項5】 前記第3の層が、光を透過しない程度の厚さを有することを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項6】 前記基板の屈折率を $n_s$ 、前記第1の層の屈折率を $n_1$ 、前記第2の層の複素屈折率を $N_2$ （ $= n_2 - i \cdot k_2$ 、 $n_2$ は屈折率、 $k_2$ は消衰係数、 $i$ は虚数単位）、前記第3の層の複素屈折率を $N_3$ （ $= n_3 - i \cdot k_3$ 、 $n_3$ は屈折率、 $k_3$ は消衰係数、 $i$ は虚数単位）としたとき、次式（1）の関係を満たす

【数1】

する請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項15】 前記第1の層が、酸化物および窒化物のうちのいずれかからなることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項16】 前記第1の層が、窒化ケイ素、窒化アルミニウム、酸化チタン、酸化ニオブおよび酸化タンタルのうちのいずれかからなることを特徴とする請求項15記載の光学多層構造体。

【請求項17】 前記第2の層が、金属、酸化金属、窒化金属、炭化物および半導体のうちのいずれかからなることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項18】 前記第3の層が、金属、酸化金属、窒化金属、カーボン（C）、グラファイト、炭化物および半導体のうちのいずれかからなることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項19】 前記基板が、酸化ケイ素、ガラスおよびプラスチックのうちのいずれかからなり、前記第1の層が、酸化チタンからなり、前記第2の層が、タングステン、ゲルマニウム、タンタルおよびチタンのうちのいずれかからなり、前記第3の層が、カーボンからなることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項20】 前記基板が、酸化ケイ素、ガラスおよびプラスチックのうちのいずれかからなり、前記第1の層が、酸化チタンからなり、前記第2の層が省略されており、前記第3の層がシリコン（Si）からなることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項21】 前記間隙部は、空気、または透明な気体若しくは液体で満たされていることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項22】 前記間隙部は、真空状態であることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項23】 前記駆動手段は、磁力を用いて前記間隙部の光学的な大きさを变化させるものであることを特

微とする請求項8記載の光学多層構造体。

【請求項24】 入射媒質を兼ねる基板の一方の面に、透明な第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な間隙部、第2の層および光の吸収のある第3の層を配設した構造を有し、前記基板側から入射した光を変調する光学多層構造体と、前記間隙部の光学的な大きさを变化させるための駆動手段とを備えたことを特徴とする光スイッチング素子。

【請求項25】 1次元または2次元に配列された複数の光スイッチング素子に光を照射することで2次元画像

を表示する画像表示装置であって、前記光スイッチング素子が、入射媒質を兼ねる基板の一方の面に、透明な第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な間隙部、第2の層および光の吸収のある第3の層を配設した構造を有し、前記基板側から入射した光を変調する光学多層構造体と、前記間隙部の光学的な大きさを变化させるための駆動手段とを備えたことを特徴とする画像表示装置。

【請求項26】 前記基板の他方の面に、反射防止膜を有することを特徴とする請求項25記載の画像表示装置。

【請求項27】 前記基板の他方の面に、カラーフィルターを有することを特徴とする請求項25記載の画像表示装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、入射光を反射、透過若しくは吸収させる機能を有する光学多層構造体、この光学多層構造体を用いた光スイッチング素子および画像表示装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、映像情報の表示デバイスとしてのディスプレイの重要性が高まっており、このディスプレイ用の素子として、更には、光通信、光記憶装置、光プリンタなどの素子として、高速で動作する光スイッチング素子（ライトバルブ）の開発が要望されている。従来、この種の素子としては、液晶を用いたもの、マイクロミラーを用いたもの（DMD：Digital Micro Mirror Device、デジタルマイクロミラーデバイス、テキサスインスツルメンツ社の登録商標）、回折格子を用いたもの（GLV：Grating Light Valve、グレーティングライトバルブ、SLM（シリコンライトマシン）社製）等がある。

【0003】GLVは回折格子をMEMS（Micro Electro Mechanical Systems）構造で作製し、静電力で10nsの高速ライトスイッチング素子を実現している。DMDは同じくMEMS構造でミラーを動かすことによりスイッチングを行うものである。これらのデバイスを用いてプロジェクタ等のディスプレイを実現できるもの

の、液晶とDMDは動作速度が遅いために、ライトバルブとしてディスプレイを実現するためには2次元配列としなければならず、構造が複雑となる。一方、GLVは高速駆動型であるので、1次元アレイを走査することでプロジェクションディスプレイを実現することができる。

【0004】しかしながら、GLVは回折格子構造であるので、1ピクセルに対して6つの素子を作り込んだり、2方向に出た回折光を何らかの光学系で1つにまとめる必要があるなどの複雑さがある。

【0005】簡単な構成で実現できるものとしては、米国特許公報5,589,974号や米国特許公報5,500,761号に開示されたものがある。このライトバルブは、基板（屈折率 $n_s$ ）の上に間隙部（ギャップ層）を挟んで、屈折率が $\sqrt{n_s}$ の透光性の薄膜を設けた構造を有している。この素子では、静電力を利用して薄膜を駆動し、基板と薄膜との間の距離、すなわち、間隙部の大きさを变化させることにより、光信号を透過あるいは反射させるものである。ここで、薄膜の屈折率は基板の屈折率 $n_s$ に対して、 $\sqrt{n_s}$ となっており、このような関係を満たすことにより、高コントラストの光変調を行うことができるとされている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述のような構成の素子では、基板の屈折率 $n_s$ が「4」などの大きな値でなければ、可視光領域においては実現することはできないという問題がある。すなわち、透光性薄膜としては、構造体であることを考えると、窒化ケイ素（Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>）（屈折率 $n=2.0$ ）などの材料が望ましいが、その場合には基板の屈折率 $n_s=4$ となる。可視光領域では、このような材料の選択肢は狭い。赤外線等の通信用波長では、ゲルマニウム（Ge）（ $n=4$ ）、シリコン（Si）（ $n=4$ ）などを用いることにより実現可能である。

【0007】そこで、本出願人と同一出願人は、先に、基板上に、光の吸収のある第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な間隙部、および第2の層を配設した構造を有する光学多層構造体、これを用いた光スイッチング素子および画像表示装置を提案した（特開2000-219599明細書）。この提案の光学多層構造体は、基板上に、光の吸収のある第1の層、間隙部および第2の層をこの順で配設した構成のものである。また、この光学多層構造体では、基板の複素屈折率を $N_s (=n_s - i \cdot k_s, n_s$ は屈折率、 $k_s$ は消衰係数、 $i$ は虚数単位)、第1の層の複素屈折率を $N_1 (=n_1 - i \cdot k_1, n_1$ は屈折率、 $k_1$ は消衰係数)、第2の層の屈折率を $n_2$ 、入射媒質の屈折率を1.0としたとき、次式（2）の関係を満たすように構成されている。

【0008】

【数2】

$$\left\{ \left( n_1 - \frac{n_1^2 + 1}{2} \right)^2 + k_1^2 - \left( \frac{n_1^2 - 1}{2} \right)^2 \right\} \times \left\{ \left( n_2 - \frac{n_2^2 + 1}{2} \right)^2 + k_2^2 - \left( \frac{n_2^2 - 1}{2} \right)^2 \right\} < 0 \quad (2)$$

【0009】上記提案の光学多層構造体によれば、2次元の画像表示装置を構成するのに十分な高速応答が可能で、かつ原理的に単純な構造で光スイッチング素子を実現することができる。更に、光の反射と吸収とを切り替えることができるので、画像表示装置を実現する上で問題となる不要な光の処理を極めて簡単に行うことができる。したがって、この光スイッチング素子は直視・反射型の画像表示装置に好適に用いることができる。

【0010】ところで、上記提案の光学多層構造体は、光学多層構造体の第2の層の側（基板とは反対側）から入射する光に対して変調を行う。そのため、この光学多層構造体を用いて光スイッチング素子ないし画像表示装置を構成する場合には、基板上に形成された光学多層構造体を保護・封止するために光学多層構造体の第2の層の側に配置される付加基板として、透明なものをを用いなければならない。カラー表示の場合には、この透明な付加基板にカラーフィルターなどを形成する。しかしながら、透明な付加基板を配設することによって反射界面が増えるので、それらの界面での反射が問題となり、反射防止膜を装着するなどの対策が必要となる虞がある。 \*

$$\left\{ \left( n_2 - \frac{n_2^2 + n_3^2}{2n_3} \right)^2 + k_2^2 - \left( \frac{n_2^2 - n_3^2}{2n_3} \right)^2 \right\} \times \left\{ \left( n_1 - \frac{n_1^2 + n_2^2}{2n_2} \right)^2 + k_1^2 - \left( \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_2} \right)^2 \right\} \leq 0 \quad (3)$$

【0015】本発明による光スイッチング素子は、入射媒質を兼ねる基板の一方の面に、透明な第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な間隙部、第2の層および光の吸収のある第3の層を配設した構造を有し、基板側から入射した光を変調する光学多層構造体と、間隙部の光学的な大きさを変化させるための駆動手段とを備えたものである。

【0016】本発明による画像表示装置は、1次元または2次元に配列された複数の光スイッチング素子に光を照射することで2次元画像を表示するものであって、光スイッチング素子が、入射媒質を兼ねる基板の一方の面に、透明な第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な間隙部、第2の層および光の吸収のある第3の層を配設した構造を有し、基板側から入射した光を変調する光学多層構造体と、間隙部の光学的な大きさを変化させるための駆動手段とを備えたものである。

【0017】本発明による光学多層構造体では、基板側から光を入射させ、間隙部の光学的な大きさを、「 $\lambda/4$ 」（ $\lambda$ は入射光の設計波長）の奇数倍と「 $\lambda/4$ 」の偶数倍（0を含む）との間で、2値的あるいは連続的に変化させると、入射光の反射、透過若しくは吸収の量が2値的あるいは連続的に変化する。

【0018】本発明による光スイッチング素子では、基板側から光を入射させ、駆動手段によって、光学多層構造

\*【0011】本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、反射界面が少なく単純な構成の光学多層構造体、これを用いた光スイッチング素子および画像表示装置を提供することにある。

【0012】本発明による光学多層構造体は、入射媒質を兼ねる基板の一方の面に、透明な第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な間隙部、第2の層および光の吸収のある第3の層を配設した構造を有し、基板側から入射した光を変調するものである。

【0013】本発明による光学多層構造体では、基板の屈折率を $n_s$ 、第1の層の屈折率を $n_1$ 、第2の層の複素屈折率を $N_2$ （ $=n_2 - i \cdot k_2$ 、 $n_2$ は屈折率、 $k_2$ は消衰係数、 $i$ は虚数単位）、第3の層の複素屈折率を $N_3$ （ $=n_3 - i \cdot k_3$ 、 $n_3$ は屈折率、 $k_3$ は消衰係数、 $i$ は虚数単位）としたとき、次式（3）の関係を満たすことが好ましい。

【0014】

【数3】

造体の間隙部の光学的な大きさを変化させることにより、入射光に対してスイッチング動作がなされる。

【0019】本発明による画像表示装置では、1次元あるいは2次元に配列された本発明の複数の光スイッチング素子に対して、基板側から光が照射されることによって、2次元画像が表示される。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0021】図1および図2は、本発明の一実施の形態に係る光学多層構造体1の基本的な構成を表すものである。図1は光学多層構造体1における後述の間隙部12が存在し、高反射時の状態、図2は光学多層構造体1の間隙部12がなく、低反射時の状態をそれぞれ示している。なお、この光学多層構造体1は具体的には例えば光スイッチング素子として用いられ、この光スイッチング素子を複数個1次元または2次元に配列することにより、画像表示装置を構成することができる。

【0022】この光学多層構造体1は、入射媒質を兼ねる基板10の一方の面に、この基板10に接する、透明な第1の層11、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさを変化させることのできる間隙部12、第1の層11と間隙部12を挟んで反対側に形成された第2の層13、および第2の層13に接する、光の吸収のある第3の層14をこの順で配設して構成した

ものである。

【0023】基板10は、第1の層11に入射する光の入射媒質を兼ねており、例えば酸化ケイ素(SiO<sub>2</sub>)、ガラス、プラスチックなどの透明材料からなるものとしてもよい。

【0024】第1の層11は、酸化物材料または窒化物材料などの透明材料からなるものであり、例えば、酸化チタン(TiO<sub>2</sub>) (n<sub>1</sub>=2.4)、窒化ケイ素(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) (n<sub>1</sub>=2.0)、窒化アルミニウム(AlN) (n<sub>1</sub>=2.16)、酸化ニオブ(Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (n<sub>1</sub>=2.2)、酸化タンタル(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (n<sub>1</sub>=2.1) などにより形成されている。

【0025】第1の層11の光学的な膜厚n<sub>1</sub>・d<sub>1</sub>は、「λ/4」(λは入射光の設計波長)以下となっている。その理由は後述する。

【0026】間隙部12は、後述の駆動手段によって、その光学的な大きさ(第1の層11と第2の層13との間隔)が可変であるように設定されている。間隙部12を埋める媒体は、透明であれば気体でも液体でもよい。気体としては、例えば、空気(ナトリウムD線(589.3nm)に対する屈折率n<sub>0</sub>=1.0)、窒素(N<sub>2</sub>) (n<sub>0</sub>=1.0) など、液体としては、水(n<sub>0</sub>=1.333)、シリコンオイル(n<sub>0</sub>=1.4~1.7)、エチルアルコール(n<sub>0</sub>=1.3618)、グリセリン(n<sub>0</sub>=1.4730)、ジョードメタン(n<sub>0</sub>=1.737)などが挙げられる。なお、間隙部12を真空状態とすることもできる。本実施の形態では、間隙部12を空気で充填している。

【0027】間隙部12の光学的な大きさは、「λ/4の奇数倍」と「λ/4の偶数倍(0を含む)」との間で、2値的あるいは連続的に変化するものである。これにより入射光の反射、透過若しくは吸収の量が2値的あるいは連続的に変化する。なお、上記第1の層11および第2の層13の膜厚の場合と同様に、λ/4の倍数から多少ずれても、他の層の膜厚あるいは屈折率の多少の変化で補完できるので、「λ/4」の表現には、「ほぼλ/4」の場合も含まれるものとする。

【0028】なお、本明細書中の表記での「λ/4」は厳密に「λ/4」でなくとも、これらの近傍の値でもよい。これは、例えば、一方の層の光学膜厚がλ/4より厚くなった分、他方の層を薄くするなどして補完できるからであり、また、後述の式(4)から屈折率が多少ずれた場合でも、膜厚で調整可能な場合もあるからである。よって、本明細書においては、「λ/4」の表現には「ほぼλ/4」の場合も含まれるものとする。

【0029】第2の層13は、タングステン(W)、タンタル(Ta)、チタン(Ti)などの金属、窒化チタン(TiN)などの窒化金属、またはゲルマニウム(Ge)などの半導体などの光の吸収のある材料からなるものとしてもよい。なお、第2の層13の材料例について

は、後で図7を用いて説明する。

【0030】第3の層14は、酸化クロム(CrO)などの酸化金属、窒化チタン(TiN)などの窒化金属、カーボン(C)、グラファイト(黒鉛)、シリコンカーバイド(SiC)などの炭化物またはシリコン(Si)などの半導体などの、光の吸収のある材料からなるものとしてもよい。なお、第3の層14の材料例については、後で図7を用いて説明する。

【0031】第3の層14は、光を透過しない程度の膜厚を有することが好ましい。低反射時において入射光が第3の層14によって吸収され、透光などが発生する虞がなくなるからである。

【0032】第1の層11、第2の層13および第3の層14は、互いに光学的特性の異なる2以上の層で構成された複合層としてもよいが、この場合には複合層における合成した光学的特性が単層の場合と同等な特性を有するものとする必要がある。

【0033】次に、図3および図4、ならびに図5を参照して、上記のような光学多層構造体1を実現するために上記した各層の光学定数が満たすべき条件について説明する。以下の説明において用いる図3および図4は、図1および図2に示した光学多層構造体1を表しているが、説明をわかりやすくするために、入射媒質である基板10を点線で表し、透明な第1の層11を最上層、光の吸収のある第3の層14を最下層として、図1および図2とは逆の順序で示している。

【0034】本実施の形態では、図3および図4に示したように、n<sub>0</sub>の屈折率を持つ透明な基板10が入射媒質であり、n<sub>1</sub>の屈折率を持つ透明な第1の層11が最上層であり、第2の層13と最下層である第3の層14とが光の吸収のある材料により形成されている。図3は間隙部12が存在し、高反射時の状態、図4は間隙部12がなく、低反射時の状態をそれぞれ示している。

【0035】まず、図4に示した間隙部12がない場合、すなわち低反射の場合には、第1の層11、第2の層12および第3の層14のそれぞれの材料の光学アドミッタンスを合成した合成光学アドミッタンスが、基板10の光学アドミッタンス(n<sub>0</sub>と等値)となるようにすれば、設計波長に対する反射率を0とすることができる。ここで、光学アドミッタンスyは、複素屈折率N(=n-i・k、nは屈折率、kは消衰係数、iは虚数単位)と値が同じである。例えば、空気のアドミッタンスはy(air)=1、n(air)=1、ガラスのアドミッタンスはy(glass)=1.52、n(glass)=1.52である。

【0036】すなわち、n<sub>1</sub>の屈折率を持つ透明な第1の層11が、ダイアグラム上の(n<sub>1</sub>, 0)の点(基板10の光学アドミッタンスであり、屈折率と等値)を通る軌跡は、図5に示したように、実軸Re(Y)上でn<sub>1</sub><sup>2</sup>とn<sub>1</sub><sup>2</sup>/n<sub>3</sub>とを通り、中心Cが(n<sub>1</sub><sup>2</sup>+



$n_s^2) / 2n_s$ 、半径  $r$  が  $(n_1^2 - n_s^2) / 2n$ 、の円弧  $a$  となる。ここで、第3の層14の材料の光学アドミッタンス  $y_3$ 、(=複素屈折率  $N_3$ 、( $=n_3 - i \cdot k_3$ 、 $n_3$  は屈折率、 $k_3$  は消衰係数、 $i$  は虚数単位)) が図5の円弧  $a$  の内側にあり、円弧  $a$  の外側に、第2の層13の材料の光学アドミッタンス  $y_2$ 、(=複素屈折率  $N_2$ 、( $=n_2 - i \cdot k_2$ 、 $n_2$  は屈折率、 $k_2$  は消衰係数、 $i$  は虚数単位)) があるとすると、第3の層14と第2の層13との合成光学アドミッタンス  $y_{12}$  は、第3の層14の光学アドミッタンス  $y_3$  から出発して、第2の層13の膜厚増加とともに緩やかなカーブを描き、第2の層13の光学アドミッタンス  $y_2$  に帰着する。第3の層14の光学アドミッタンス  $y_3$  と第2の層13の光学アドミッタンス  $y_2$  とは、第1の層11の円弧  $a$  を挟んで反対側に位置しているので、第3の層14と第2の層13との合成光学アドミッタンス  $y_{12}$  は、第1の層11の円弧  $a$  を必ず横切る。こうして、第3の層14と第2の層13との合成光学アドミッタンス  $y_{12}$  が第1の層11の円弧  $a$  との交点における値となるように、第2の層13の膜厚を決めることができる。第3の層14、第2の層13および第1の層11の合成光学アドミッタンスは、この交点から第1の層11の円弧  $a$  に\*

$$\left\{ \left( n_2 - \frac{n_1^2 + n_3^2}{2n_3} \right) + k_2^2 - \left( \frac{n_1^2 - n_3^2}{2n_3} \right)^2 \right\} \times \left\{ \left( n_2 - \frac{n_1^2 + n_3^2}{2n_3} \right) + k_2^2 - \left( \frac{n_1^2 - n_3^2}{2n_3} \right)^2 \right\} \leq 0 \quad (4)$$

【0040】図5において、第1の層11の光学的な膜厚  $n_1 \cdot d_1$  は、 $(n_s, 0)$  から出発した第1の層11の円弧  $a$  がちょうど半円となる(実軸上の  $n_1^2 / n_s$ ) とときに、「 $\lambda/4$ 」( $\lambda$  は入射光の設計波長) となる。第3の層14と第2の層13との合成光学アドミッタンス  $y_{12}$  が第1の層11の円弧  $a$  を横切るのはその半円の途中であるから、第1の層11の光学的な膜厚  $n_1 \cdot d_1$  は、「 $\lambda/4$ 」以下であることになる。

【0041】一方、図3に示したように、間隙部12がある場合には、第1の層11、間隙部12、第2の層13および第3の層14の合成光学アドミッタンスが、基板10の屈折率  $n_s$  に帰着せず、高反射となる。

【0042】すなわち、この光学多層構造体1では、第1の層11と第2の層13との間の間隙部12の間隔が「0」のときには反射防止膜となり、その間隔が設計波長に対し光学的にほぼ  $\lambda/4$  の時には反射膜となる。つまり、間隔を「0」と「 $\lambda/4$ 」との間で可変とすることで、後述のように反射率を「0」と「70%」以上に変えられる光スイッチング素子を実現することができる。間隙部12の大きさを可変とするためには、基板10および第1の層11のうちの少なくとも一方と、第2の層13および第3の層14のうちの少なくとも一方とに、少なくとも一部にITO (Indium-Tin Oxide) ( $n=2.0$ ) などの透明導電膜を含め、静電気により駆動するなどの方法が考えられる。透明導電膜は、ITOの

\*沿って移動する。したがって、第1の層11、第2の層12および第3の層14の合成光学アドミッタンスが、基板10の光学アドミッタンス ( $n_s$  と等値) となるように第1の層11の膜厚を決めることができる。

【0037】このように、第3の層14の光学アドミッタンス  $y_3$  と第2の層13の光学アドミッタンス  $y_2$  とが、第1の層11の光学的特性に依存する円弧  $a$  を挟んで反対側に位置するようにすれば、設計波長に対する反射率が0となるような膜厚の組合せが必ず存在する。第3の層14の光学アドミッタンス  $y_3$  が円弧  $a$  の内側でもよいし外側でもよい。

【0038】かかる条件を満たすための、第3の層14および第2の層13の光学定数の関係は、次式(4)のようになる。但し、別の光学定数を持った材料をごく薄く配することで第3の層14、第2の層13および第1の層11の合成光学アドミッタンスが  $n_s$  に帰着することもあるので、式(4)を完全に満たさなくても良い場合もあることから、式(4)をほぼ満たす状態であればよい。

【0039】

【数4】

ほか、酸化スズ ( $\text{SnO}_2$ ) ( $n=2.0$ )、酸化亜鉛 ( $\text{ZnO}$ ) ( $n=2.0$ ) からなるものでもよい。

【0043】ところで、上記式(4)において、等号は、第2の層13の光学的特性が第3の層14の光学的特性に等しい場合、すなわち、図6に示したように、図3において第2の層13が省略されている場合にあたる。図5の光学アドミッタンスダイアグラムでは、第3の層14の光学アドミッタンス  $y_3$  が第1の層11の円弧  $a$  上にある場合に相当する。

【0044】このような光学多層構造体の材料の組み合わせとしては、上記のような制約を満足すればよく、その選定の自由度は広い。図7は、基板10が  $\text{SiO}_2$ 、第1の層11が  $\text{TiO}_2$  である場合の第1の層11の光学アドミッタンスダイアグラムを表す曲線  $a$  (図5の円弧  $a$  に相当) と、第2の層13および第3の層14として用いる各種材料の光学アドミッタンス (複素屈折率と等値) とを合わせて示したものである。図7の曲線 (半円)  $a$  の内側の材料と外側の材料とを組み合わせれば上述の光学多層構造体を実現する設計が見つかる。表1はその一例を表すものである。なお、表1における光学特性は、Palikの文献値を用いている (E.D. Palik, Handbook of Optical Constants of Solids, Academic Press)。

【0045】

【表1】

	材料	n (550nm)	k (550nm)	膜厚 (nm)
第3の層	C	1.84	0.443	300以上
第2の層	W	3.24	2.49	10.3
間隙部	空気	1	0	0/138
第1の層	TiO <sub>2</sub>	2.40	0	50.2
基板	SiO <sub>2</sub>	1.46	0	N/A

【0046】ここでは、基板10としてクォーツ(SiO<sub>2</sub>)、第1の層11としてTiO<sub>2</sub>層、間隙部12として空気層(n=1.00)、第2の層13としてタンタム層、第3の層14としてカーボン層を用いた。カーボン層からなる第3の層14は、上述したように光を透過しない程度の膜厚を有するが、ここでは300nm以上としている。その理由は、第3の層14のカーボン層の膜厚が100nm、300nmおよび十分に厚い場合のそれぞれについて低反射時の反射特性を調べたところ、図8に示したように、膜厚300nmでは十分に厚い場合とほぼ同程度の反射特性を示したからである。なお、図8において、曲線8Aは膜厚100nmの場合、曲線8Bは膜厚300nmの場合、そして曲線8Cは膜厚が十分に厚い場合を表している。

【0047】図9は、このような構成で、入射光の波長(設計波長550nm)と反射率との関係をシミュレーションした結果を表すものである。ここで、曲線9Aは間隙部12(空気層)の光学膜厚が「0」(低反射側)、曲線9Bは光学膜厚が「λ/4」(138nm)(高反射側)の場合の特性をそれぞれ表している。図9\*

\*から分かるように、設計波長550nmで、低反射時は0%、高反射時は73%の反射特性を示している。また、図10は、低反射時の合成光学アドミッタンスダイアグラムを示すもので、合成光学アドミッタンスが1.46(基板10の屈折率)に帰着していることが分かる。これに対して、図11は、高反射時の合成光学アドミッタンスダイアグラムを示すもので、合成光学アドミッタンスは基板10の屈折率に帰着していない。

【0048】なお、図7に示した各種材料の光学アドミッタンス(複素屈折率と等値)から分かるように、第2の層13の材料としては、タンタムの代わりにゲルマニウム、タンタル、チタンなどを用いても同等の特性を得ることができる。また、基板10はガラスまたはプラスチックでもよい。

【0049】表2は、上記式(4)において等号の場合、すなわち、第2の層13の光学的特性を第3の層14の光学的特性に等しくして第2の層13を省略した構成(図6参照)の一例を示したものである。

【0050】

【表2】

	材料	n (550nm)	k (550nm)	膜厚 (nm)
第3の層	Si	4.04	0.1	300以上
第2の層	省略	N/A	N/A	N/A
間隙部	空気	1	0	0/138
第1の層	TiO <sub>2</sub>	2.40	0	59.0
基板	SiO <sub>2</sub>	1.46	0	N/A

【0051】ここでは、基板10としてクォーツ(SiO<sub>2</sub>)、第1の層11としてTiO<sub>2</sub>層、間隙部12として空気層(n=1.00)を用いたことは表1の例と同様であるが、第2の層13を省略し、第3の層14としてシリコン(Si)結晶を用いている。図7から分かるように、シリコン結晶の光学アドミッタンス(複素屈折率と等値)は、ほぼ、TiO<sub>2</sub>層からなる第1の層11の光学アドミッタンス曲線a上にある。

【0052】図12は、表2に示した構成で、入射光の波長(設計波長550nm)と反射率との関係をシミュレーションした結果を表すものである。ここで、曲線12Aは間隙部12(空気層)の光学膜厚が「0」(低反射側)、曲線12Bは光学膜厚が「λ/4」(138nm)(高反射側)の場合の特性をそれぞれ表している。

図12から分かるように、設計波長550nmで、低反射時は0.2%、高反射時は76%の反射特性を示している。

【0053】本実施の形態の光学多層構造体1は、基板10側から光を入射させ、間隙部12の光学的な大きさを、λ/4の奇数倍とλ/4の偶数倍(0を含む)との間(例えば、「λ/4」と「0」との間)で、2値的あるいは連続的に変化させることによって、入射した光の反射、透過若しくは吸収の量を変化させるものである。

【0054】このように本実施の形態では、基板10側からの入射光に変調をかけるようにしたので、基板10自体が光学多層構造体1の透明保護基板を兼ねることができるようになる。したがって、基板10側(光が入射する側)に別の透明保護基板を配置する必要がなくな

り、反射界面が少なく済む。さらに、この光学多層構造体1を用いて画像表示装置を形成する場合には、基板10の他方の面にカラーフィルターなどを直接作り込むことができ、カラーフィルターを形成した透明保護基板を別部品として用意する必要がなくなる。また、光学多層構造体1の第2の層14側の保護部材は、光が入射しないので透明基板である必要はなく、不透明な材料、例えば安価な金属板などでもよく、どのようなものを配置してもよい。

【0055】また、例えば550nmなどの可視光領域においても、低反射時の反射率を殆ど0、高反射時の反射率を70%以上とすることができるので、1000対1程度の高コントラストのディスプレイを実現可能である。しかも、構成が簡単であるので、GLVなどの回折格子構造やDMDなどの複雑な3次元構造よりも容易に作製することができる。また、GLVは1つのピクセルに6本の格子状のリボンが必要であるが、本実施の形態では1本で済むので、構成が簡単であり、かつ小さく作製することが可能である。また、可動部分の移動範囲も高々「 $\lambda/2$ 」であるため、10nsレベルの高速応答が可能になる。よって、ディスプレイ用途のライトバルブとして用いる場合には、後述のように1次元アレイの簡単な構成で実現することができる。

【0056】更に、本実施の形態の光学多層構造体1は、間隙部を金属薄膜や反射層で挟んだ構造の狭帯域透過フィルタ、すなわちファブリーペロータイプのものとは本質的に異なるものであるため、低反射帯の帯域幅を広くすることができる。よって、製作時の膜厚管理のマージンを比較的広くとることが可能であり、設計の自由度が増す。

【0057】また、本実施の形態では、第2の層13および第3の層14の複素屈折率はある条件を満足する値であれば良いため、材料の選択の自由度が広がる。さらに、第3の層14は光を透過しない程度の厚さを有するので、低反射時において入射光は第3の層14に吸収され、迷光などが発生する心配はなくなる。

【0058】以上のように、本実施の形態の光学多層構造体1を用いることにより、高速で小型であり、しかも信頼性の向上した光スイッチング素子および画像表示装置を実現することができる。これらの詳細については後述する。

【0059】〔駆動方法〕次に、上記光学多層構造体1における間隙部12の大きさを変化させるための具体的な手段について説明する。

【0060】図13は、静電気により光学多層構造体を駆動する例を示している。この光学多層構造体は、透明な基板10の上の第1の層11の両側にそれぞれ例えばアルミニウムからなる電極16a、16aを設けると共に、第2の層13および第3の層14を例えば窒化シリコン(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)からなる支持体15により支持し、

この支持体15の電極16a、16aに対向する位置に電極16b、16bを形成したものである。

【0061】この光学多層構造体では、電極16a、16aおよび電極16b、16bへの電圧印加による電位差で生じた静電引力によって、間隙部12の光学膜厚を、例えば「 $\lambda/4$ 」と、「0」との間、あるいは「 $\lambda/4$ 」と「 $\lambda/2$ 」との間で2値的に切り替える。勿論、電極16a、16a、電極16b、16bへの電圧印加を連続的に変化させることにより、間隙部12の大きさをある値の範囲で連続的に変化させ、入射した光の反射、若しくは透過あるいは吸収等の量を連続的(アナログ的)に変化させるようにすることもできる。

【0062】光学多層構造体を静電気で駆動するものとしては、その他、図14および図15に示した方法によってもよい。図14に示した光学多層構造体1は、透明な基板10の上の第1の層11上に例えばITO(Indium-Tin Oxide)からなる透明導電膜17aを設けると共に、第2の層13および第3の層14を架橋構造に形成し、この第2の層13および第3の層14の外面に同じくITOからなる透明導電膜17bを設けたものである。

【0063】この光学多層構造体では、透明導電膜17a、17b間への電圧印加による電位差で生じた静電引力によって、間隙部12の光学膜厚を切り替えることができる。

【0064】図15に示した光学多層構造体では、図13の光学多層構造体の透明導電膜17aの代わりに、導電性のある第1の層11として例えばITOなどの高屈折率透明導電膜を配したものである。

【0065】光学多層構造体の駆動は、このような静電気の他、トグル機構や圧電素子などのマイクロマシンを用いる方法、磁力を用いる方法や、形状記憶合金を用いる方法など、種々考えられる。図16(A)、(B)は磁力を用いて駆動する態様を示したものである。この光学多層構造体では、第3の層14の上に開孔部を有するコバルト(Co)などの磁性材料からなる磁性層40を設けると共に基板10の下部に電磁コイル41を設けたものであり、この電磁コイル41のオン・オフの切り替えにより、間隙部12の間隔を例えば「 $\lambda/4$ 」(図16(A))と「0」(図16(B))との間で切り替え、これにより反射率を変化させることができる。

【0066】〔光スイッチング装置〕図17は、上記光学多層構造体1を用いた光スイッチング装置100の構成を表すものである。光スイッチング装置100は、例えばガラスからなる基板110上に複数(図では4個)の光スイッチング素子100A~100Dを一次元アレイ状に配設したものである。なお、1次元に限らず、2次元に配列した構成としてもよい。この光スイッチング装置100では、基板110の一方の面の一方(素子配列方向)に沿って例えばITO膜111AとTiO<sub>2</sub>

膜111Bとが形成されている。このITO膜111AとTiO<sub>2</sub>膜111Bとが、上記実施の形態における第1の層11に対応する。

【0067】基板110上には、ITO膜111Aおよび窒化ケイ素膜111Bに対して直交する方向に、複数本のタングステン(W)膜113が配設されている。タングステン膜113の外側には、カーボン(C)膜114が配設されている。これらタングステン膜113およびカーボン膜114が上記実施の形態の第2の層13および第3の層14にそれぞれ対応する。TiO<sub>2</sub>膜111Bとタングステン膜113との間には、スイッチング動作(オン・オフ)に応じてその大きさが変化する間隙部112が設けられている。間隙部112の光学膜厚は、入射光の波長( $\lambda=550\text{nm}$ )に対しては、例えば「 $\lambda/4$ 」(138nm)と「0」との間で変化するようになっている。

【0068】光スイッチング素子100A~100Dは、例えばITO膜111Aおよびタングステン膜113への電圧印加による電位差で生じた静電引力によって、間隙部112の光学膜厚を、例えば「 $\lambda/4$ 」と「0」との間で切り替える。図17では、光スイッチング素子100A、100Cが間隙部112が「0」の状態(すなわち、低反射状態)、光スイッチング素子100B、100Dが間隙部112が「 $\lambda/4$ 」の状態(すなわち、高反射状態)を示している。なお、ITO膜111Aおよびタングステン膜113と、電圧印加装置(図示せず)とにより、本発明の「駆動手段」が構成されている。

【0069】この光スイッチング装置100では、ITO膜111Aを接地して電位を0Vとし、第2の層13に対応するタングステン膜113に例えば+12Vの電圧を印加すると、その電位差によりITO膜111Aとタングステン膜113との間に静電引力が発生し、図17では光スイッチング素子100A、100Cのように第1の層と第2の層とが密着し、間隙部112が「0」の状態となる。この状態では、入射光P<sub>1</sub>は上記多層構造体を透過し、更に第3の層14に対応するカーボン膜114に吸収される。

【0070】次に、第2の層側の透明導電膜106を接地させ電位を0Vにすると、Ta<sub>2</sub>N<sub>5</sub>膜102とITO膜106との間の静電引力がなくなり、図14では光スイッチング素子100B、100Dのように第1の層と第2の層との間が離間して、間隙部112が「 $\lambda/4$ 」の状態となる。この状態では、入射光P<sub>1</sub>は反射され、反射光P<sub>2</sub>となる。

【0071】このようにして、本実施の形態では、光スイッチング素子100A~100D各々において、入射光P<sub>1</sub>を静電引力により間隙部を2値に切り替えることによって、反射光がない状態と反射光P<sub>2</sub>が発生する状態の2値に切り替えて取り出すことができる。勿論、前述

のように間隙部の大きさを連続的に変化させることにより、入射光P<sub>1</sub>を反射がない状態から反射光P<sub>2</sub>が発生する状態に連続的に切り替えることも可能である。

【0072】これら光スイッチング素子100A~100Dでは、可動部分の動かなくてはならない距離が、大きくても入射光の「 $\lambda/2$  (あるいは $\lambda/4$ )」程度であるため、応答速度が10ps程度に十分高速である。よって、一次元アレイ構造で表示用のライトバルブを実現することができる。

【0073】加えて、本実施の形態では、1ピクセルに複数の光スイッチング素子を割り当てれば、それぞれ独立に駆動可能であるため、画像表示装置として画像表示の階調表示を行う場合に、時分割による方法だけではなく、面積による階調表示も可能である。

【0074】(画像表示装置) 図18は、上記光スイッチング装置100を用いた画像表示装置の一例として、プロジェクションディスプレイの構成を表すものである。ここでは、光スイッチング素子100A~100Dからの反射光P<sub>2</sub>を画像表示に使用する例について説明する。

【0075】このプロジェクションディスプレイは、赤(R)、緑(G)、青(B)各色のレーザからなる光源200a、200b、200cと、各光源に対応して設けられた光スイッチング素子アレイ201a、201b、201c、ダイクロイックミラー202a、202b、202c、プロジェクションレンズ203、1軸スキャナとしてのガルバノミラー204および投射スクリーン205を備えている。なお、3原色は、赤、緑、青の他、シアン、マゼンダ、イエローとしてもよい。スイッチング素子アレイ201a、201b、201cはそれぞれ、上記スイッチング素子を紙面に対して垂直な方向に複数、必要画素数分、例えば1000個を1次元に配列したものであり、これによりライトバルブを構成している。

【0076】このプロジェクションディスプレイでは、RGB各色の光源200a、200b、200cから出た光は、それぞれ光スイッチング素子アレイ201a、201b、201cに入射される。なお、この入射角は偏光の影響がでないように、なるべく0に近くし、垂直に入射させるようにすることが好ましい。各光スイッチング素子からの反射光P<sub>2</sub>は、ダイクロイックミラー202a、202b、202cによりプロジェクションレンズ203に集光される。プロジェクションレンズ203で集光された光は、ガルバノミラー204によりスキャンされ、投射スクリーン205上に2次元の画像として投影される。

【0077】このように、このプロジェクションディスプレイでは、複数の光スイッチング素子を1次元に配列し、RGBの光をそれぞれ照射し、スイッチング後の光を1軸スキャナにより走査することによって、2次元

画像を表示することができる。

【0078】また、本実施の形態では、低反射時の反射率を0.1%以下、高反射時の反射率を70%以上とすることができるので、1,000対1程度の高コントラストの表示を行うことができると共に、素子に対して光が垂直に入射する位置で特性を出すことができるので、光学系を組む際に、偏光等を考慮する必要がなく、構成が簡単である。

【0079】以上実施の形態を挙げて本発明を説明したが、本発明は上記実施の形態および変形例に限定されるものではなく、種々変形可能である。例えば、上記実施の形態では、光源としてレーザを用いて二次元アレイ状のライトバルブを走査する構成のディスプレイについて説明したが、図19に示したように、二次元状に配列された光スイッチング装置206に白色光源207からの光を照射して投射スクリーン208に画像の表示を行う構成とすることもできる。

【0080】また、上記実施の形態では、基板としてガラス基板を用いる例について説明したが、図20に示したように、例えば厚さ2mm以内の柔軟性を有する（フレキシブルな）基板209を用いたペーパー状のディスプレイとし、直視により画像を見ることができるようになる。

【0081】また、上記実施の形態では、RGB各色の光源を用いるようにしたが、カラーフィルターを用いてカラー表示を行うようにしてもよい。その場合には、図21に示したように、基板110の一方の面110Aに上記光学多層構造体を用いた光スイッチング素子100を配設し、他方の面110Bにカラーフィルター120R、120G、120Bを形成するようにすることができる。また、この基板110の他方の面110Bに、反射防止膜130を設けることも可能である。

【0082】更に、上記実施の形態では、本発明の光学多層構造体をディスプレイに用いた例について説明したが、例えば光プリンタに用いて感光性ドラムへの画像の描きこみをする等、ディスプレイ以外の光プリンタなどの各種デバイスにも適用することも可能である。

【0083】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1ないし請求項23のいずれか1項に記載の光学多層構造体および請求項24記載の光スイッチング素子によれば、基板側からの入射光に変調をかけるようにしたので、基板自体が光学多層構造体の透明保護基板を兼ねることができるようになる。したがって、基板側（光が入射する側）に別の透明保護基板を配置する必要がなくなり、反射界面が少なくて済む。さらに、この光学多層構造体または光スイッチング素子を用いて画像表示装置を形成する場合には、基板の他方の面にカラーフィルターなどを直接作り込むことができ、カラーフィルターを形成した透明保護基板を別部品として用意する必要がなくなる。また、

光学多層構造体の第2の層側の保護部材は、光が入射しないので透明基板である必要はなく、不透明な材料、例えば安価な金属板などでもよく、どのようなものを配置してもよい。

【0084】しかも、構成が簡単であるので、GLVなどの回折格子構造やDMDなどの複雑な3次元構造よりも容易に作製することができる。また、GLVは1つのピクセルに6本の格子状のリボンが必要であるが、上記の光学多層構造体では1本で済むので、構成が簡単であり、かつ小さく作製することが可能である。また、間隙部をなくして基板上に第1の層、第2の層および第3の層をこの順で接する構造とすることにより、反射防止膜として利用することができる。

【0085】更に、上記の光学多層構造体は、間隙部を金属薄膜や反射層で挟んだ構造の狭帯域透過フィルタ、すなわちファブリーペロータイプのものとは本質的に異なるものであるため、低反射帯の帯域幅を広くすることができる。よって、製作時の膜厚管理のマージンを比較的広くとることが可能であり、設計の自由度が増す。

【0086】特に、請求項5記載の光学多層構造体によれば、第3の層は光を透過しない程度の厚さを有するので、低反射時において入射光は第3の層に吸収され、迷光などが発生する心配はなくなる。

【0087】また、特に、請求項6記載の光学多層構造体によれば、基板の屈折率を $n_1$ 、第1の層の屈折率を $n_2$ 、第2の層の複素屈折率を $N_2$ （ $=n_2 - i \cdot k_2$ 、 $n_2$ は屈折率、 $k_2$ は消衰係数、 $i$ は虚数単位）、第3の層の複素屈折率を $N_3$ （ $=n_3 - i \cdot k_3$ 、 $n_3$ は屈折率、 $k_3$ は消衰係数、 $i$ は虚数単位）とすると、これらが特定の条件を満たすように構成したので、間隙部の大きさを変化させることにより、入射した光の反射、透過若しくは吸収の量を変化させることができ、簡単な構成で、特に例えば550nmなどの可視光領域においても、低反射時の反射率を殆ど0、高反射時の反射率を70%以上とすることができる。したがって、1000対1程度の高コントラストのディスプレイを実現可能である。さらに、第2の層および第3の層の複素屈折率 $N_2$ 、 $N_3$ はある条件を満足する値であれば良いため、材料の選択の自由度が広がる。

【0088】特に、請求項7記載の光学多層構造体によれば、第2の層の光学的特性を第3の層の光学的特性に等しくして第2の層を省略しているので、構造や製造プロセスをより簡単にすることができる。

【0089】加えて、特に、請求項9記載の光学多層構造体によれば、間隙部の光学的な大きさを $\lambda/4$ の奇数倍と $\lambda/4$ の偶数倍との間で2値的あるいは連続的に変化させるようにしたので、可動部分の移動範囲も高々「 $\lambda/2$ 」となり、10nsレベルの高速応答が可能になる。よって、ディスプレイ用途のライトバルブとして

\*【図8】表1に示した構成例について、第3の層のカーボン層の膜厚を100nm、300nmおよび十分に厚い場合に变化させた場合のそれぞれについて低反射時の反射特性を表す図である。

【図9】表1に示した構成例の反射特性を表す図である。

【図10】図9の例の低反射時の光学アドミッタンスを表す図である。

【図 11】図 9 の例の高反射時の光学アドミッタンスを表す図である。

【図12】表2に示した構成例の反射特性を表す図である。

【図 13】光学多層構造体の静電気による駆動方法を説明するための断面図である。

【図14】光学多層構造体の静電気による他の駆動方法を説明するための断面図である。

【図15】光学多層構造体の静電気による更に他の駆動方法を説明するための断面図である。

【図16】光学多層構造体の磁気による駆動方法を説明するための断面図である。

【図17】光スイッチング装置の一例の構成を表す図である。

【図18】ディスプレイの一例の構成を表す図である。

【図19】ディスプレイの他の例を表す図である。

【図20】ペーパー状ディスプレイの構成図である。

【図21】ディスプレイのさらに他の例を表す図である。

【符号の説明】

1…光学多層構造体、10、110…基板、11…第1の層、12、112…間隙部、13…第2の層、14…第2の層、100…光スイッチング装置

【図 1】本発明の一実施の形態に係る光学多層構造体の  
間隙部が「 $\lambda/4$ 」のときの構成を表す断面図である。

【図2】図1に示した光学多層構造体の間隙部が「0」のときの構成を表す断面図である。

【図3】図1に示した光学多層構造体を、入射媒質である基板を点線で表し、第1の層を最上層、第3の層を最下層として、図1とは逆の順序で示した断面図である。

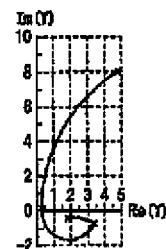
【図4】図2に示した光学多層構造体を、入射媒質である基板を点線で表し、第1の層を最上層、第3の層を最下層として、図2とは逆の順序で示した断面図である。

【図5】光学アドミッタンスダイアグラム上で、 $n_1$  の屈折率を持つ透明な第1の層が、ダイアグラム上の  $(n_s, 0)$  の点（基板の光学アドミッタンス）を通る軌跡を表す図である。

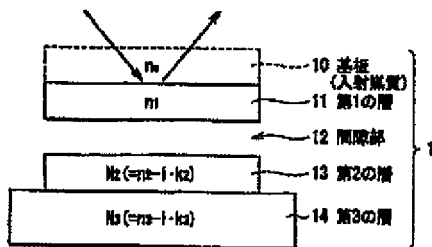
【図6】図1の光学多層構造体の変形例を表す図である。

【図7】図1に示した光学多層構造体において基板をSiO<sub>2</sub>、第1の層をTiO<sub>2</sub>により形成した場合の第1 30  
の層の光学アドミッタンスダイアグラムと、の各種材料  
の光学アドミッタンスとを合わせて示す図である。 \*

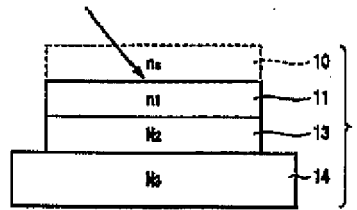
【图 11】



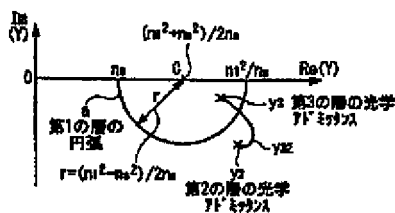
【図3】



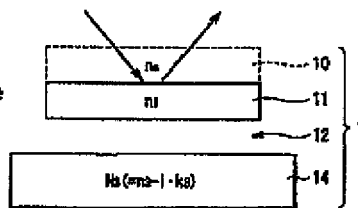
【図4】



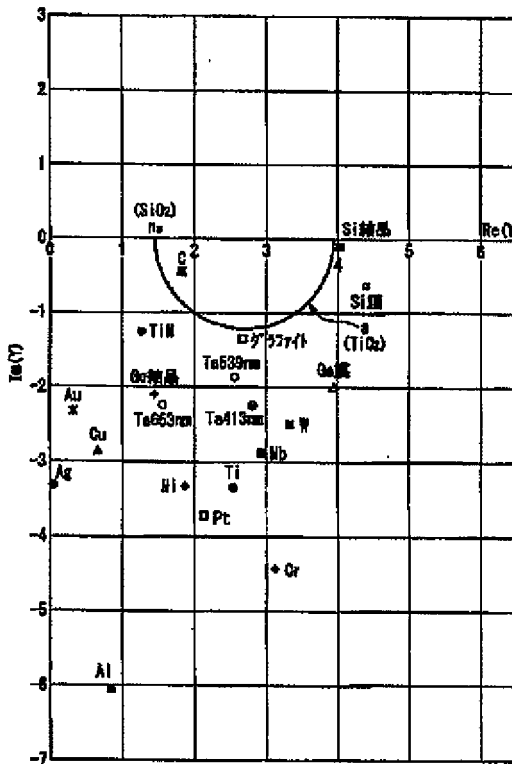
【図5】



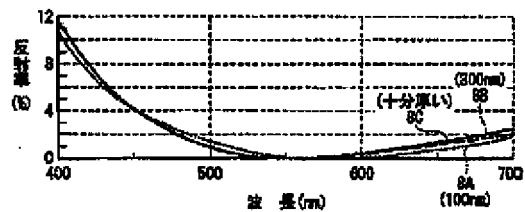
【図6】



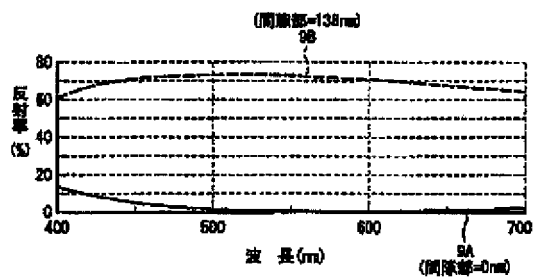
【図7】



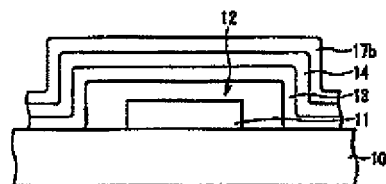
【図8】



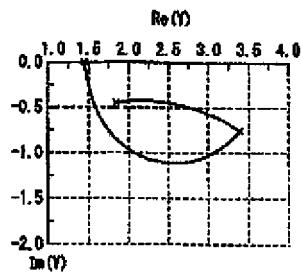
【図9】



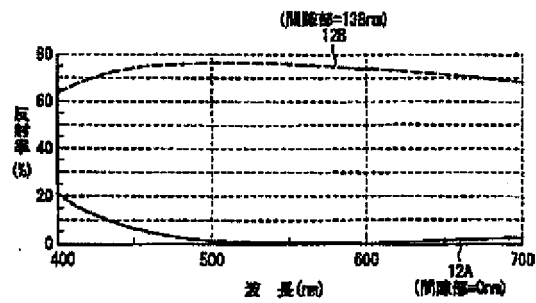
【図15】



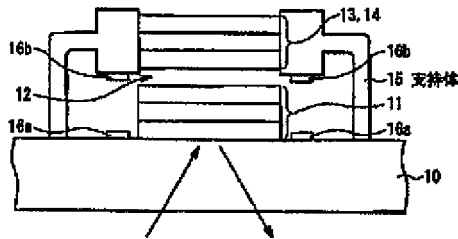
【図10】



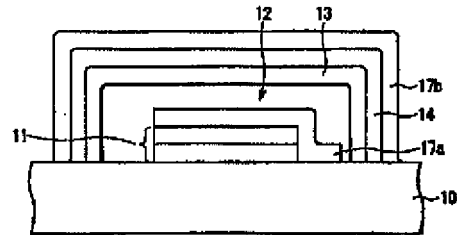
【図12】



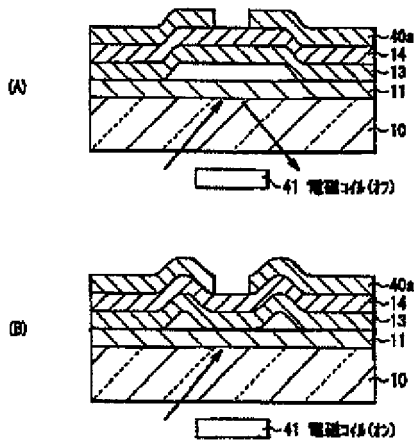
【図13】



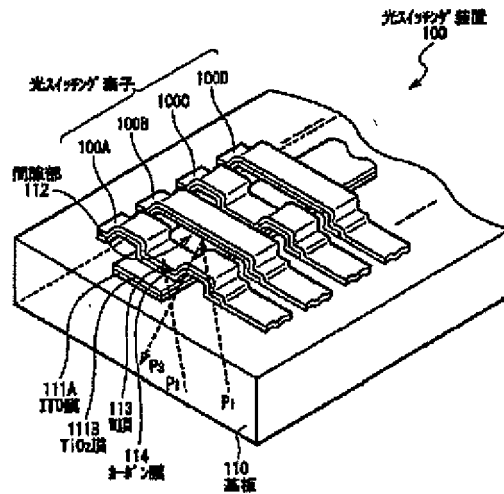
【図14】



【図16】



【図17】

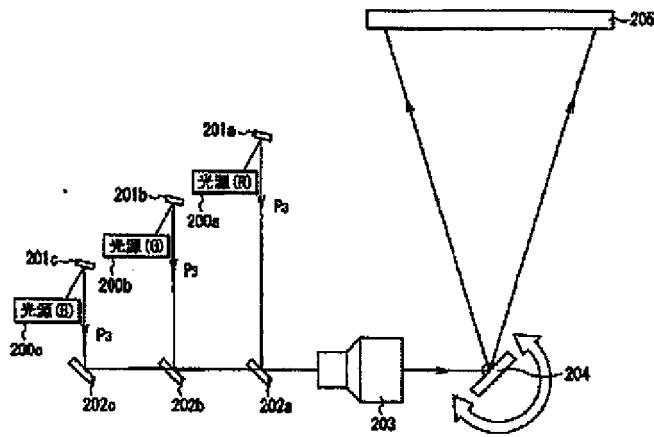


【図20】

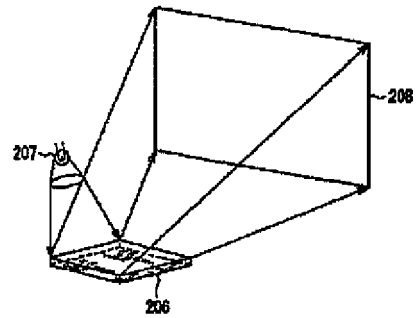




【図18】



【図19】



【図21】

